ERNÄHRUNGSUNTERSUCHUNGEN DETRITOPHAGER COLLEMBOLEN MIT HILFE VON ^{14}C – ISOTOP

von

G. GÁGERE und I. GYURJÁN

Lehrstuhl für Tiersystematik der Eötvös Loránd Universität,

Lehrstuhl für Abstammung und Vererbungslehre der Eötvös Loránd Universität, Budapest

Eingegangen: 7. Dezember, 1971

Die Collembolen bilden eine sehr wichtige Gruppe der Bodenfauna. Ihre Bedeutung wird außer ihrer hohen Individuenzahl, mit der sie stellenweise vertreten sind, auch durch die Vielfältigkeit ihrer Ernährungsweise gesteigert. Obwohl man sich mit der letzteren Frage bereits eingehend befaßt hat, ist z. T. die Feststellung von Neff (1957), daß ihre Tätigkeit verhältnismäßig noch wenig erforscht wurde, auch heute noch gültig. Die in der Literatur sich oft widersprechenden Untersuchungsergebnisse unterstreichen diese Tatsache noch mehr. Gegenüber der im allgemeinen vertretenen Meinung, daß die Collembolen Ubiquisten wären, vertritt G. Gisin (1952) die Ansicht, daß diese Tiere ökologisch weitgehend spezialisiert sind. Viele Forscher behaupten, daß die Collembolen polyphag seien (Macnamara 1924, H. Gisin 1948, Kühnelt 1950). Gewiß verzehrten viele Arten mit Vorliebe auch Sporen und Myzelfäden (Gisin 1948, Schaller 1950, Müller u. Beyer 1965). Zweifellos beteiligen sie sich auch am Abbau von abgestorbenen pflanzlichen Substanzen, worauf u. a. auch die sich häufig ausbildenden mächtigen Populationen hinweisen. Ihre Zersetzungstätigkeit erfolgt in engster Verbindung mit den Mikroorganismen. Nach Törne (1956) soll bereits das Zustandekommen der Populationen weitgehend von den vorausgehenden mikrobiellen Prozessen des Nahrungssubstrates gesteuert werden. Dunger (1956) hingegen ist der Meinung, daß diese mikrobiellen Prozesse die Ernährung fördern, aber nicht Voraussetzung dieser sind.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein bedeutender Teil der Laubstreu von den Collembolen konsumiert wird (Schaller 1950, Dunger 1956), aber bezüglich der Konsummenge selbst, gehen auch hier die Meinungen auseinander (Soudek 1928, Schaller 1950, Dunger 1956). Die verschiedenen und verschieden alten Fallaubarten – wie dies von Dunger (1956, 1962) eigehend untersucht wurde – werden in verschiedenem Maße zersetzt. Ebenfalls Dunger wies – hautp-

sächlich auf grund von Versuchen mit Folsomia fimetaria. — darauf hin, daß auch die aus der Laubstreu gewonnenen Diplopoden-, Isopoden-, Oligochaeten- und Pulmonatenexkremente von diesen Tieren auf ähnliche Weise wie das Fallaub verzehrt wird.

Diese Ernährungsweise der Collembolen besitzt hinsichtlich der Bodenbildung eine große Bedeutung. Von diesem Gesichtspunkt sind nicht die chemischen Prozesse, die sich während der Verdauung abspielen, ausschlaggebend. Bei den Collembolen scheint, ähnlich wie bei den übrigen Arthropoden, während der Verdauung keine größere chemische Veränderung im konsumiertem Substrat sich vollzuziehen. Nach Schaller (1950) sollen sich die Pilzsporen bei *Hypogastrura armata* während der Verdauung kaum verändert haben. Bedeutend aufschlußreicher ist der Umstand, daß die Tiere die konsumierte Nahrung zerkleinern, wodurch sie die Oberfläche bedeutend vergrößern und diese den Mikroorganismen weitgehend zugänglicher machen. Das Ausmaß der Zerkleinerung wurde u. a. auch von *Dunger* (1956) eingehend untersucht.

Beim Konsum von Fallaub wird von den Collembolen die Nahrung primär zerkleinert. Werden die Exkremente anderer Tiere gefressen, so ist diese Substanz einer zweitmaligen Zerkleinerung ausgesetzt. Es ergibt sich also die ausschlaggebende Frage, welche Arten und unter welchen Umständen das Fallaub bevorziehen und welche die Exkremente streufressender Arthropoden. Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse sollen Erklärung auf diese Frage geben. Zur Untersuchung wurden einige, in Ungarn vorwiegend in der Laubstreu von Eichenwäldern verbreitete Collembolenarten herangezogen. Die Versuchstiere wurden aus der Laubstreu des *Galatello—Quercetum roboris* Bestandes bei Újszentmargita gesammelt. Der Anlaß, die Tiere aus diesem Waldbestand zu sammeln, ergab sich aus dem Umstand, daß dieser Bestand einer der im IBP-Programm Ungarns fungierende Untersuchungsstandort ist.

Die vorliegende Arbeit, welche nur einen Teil unserer diesbezüglichen Untersuchungen erörtert, soll sich mit der Bekanntmachung der Methoden ausführlich befassen.

Material und Methode

Zur Untersuchung wurden die subadulten und adulten Individuen der Arten, die in Tab. 1—4 angeführt sind, herangezogen.*

Die eingesammelten Tiere wurden in gebrannte Tonschalen von 8—9 cm-Durchmesser untergebracht. In eine Schale legten wir 5—30 Exemplare je einer Art. Der geschliffene Rand der Tonschalen wurde mit Glasplatten abgedeckt. Die Tonschalen wurden im Laboratorium in feuchten Sand gestellt, um das Futter in den Schalen stets feucht zu halten. Während der Versuche erhielten alle Tiere zweierlei Futter, u. zw.

* Die Bestimmung der Untersuchungstiere erfolgte durch Herrn Doz. Dr. I. Loksa, Lehrstuhl für Tiersystematik der Eötvös L. Universität, Budapest, dem auch an dieser Stelle unser aufrichtigster Dank gebührt.

Fallaubblätter und aus Laubstreu von gleicher Art und gleichem Alter stammende Diplopoden- und Isopodenexkremente. Von den zwei verschiedenen Substanzen wurde eine mit ^{14}C-Isotop markiert. Die Fütterung erfolgte bei 20 – 22° C, zehn Tage hindurch. Die Aktivität der Collembolen wurde mit dem Geiger – Müller – Zählrohr (Wirkungsgrad 15%) gemessen. Aus dem Maß der ^{14}C-Aktivität wurde darauf gefolgert, welche von den beiden Substanzen gewählt und in welchem Maße diese von den Collembolen konsumiert wurde. Gewisse Tiere erhielten Eichenlaub *(Quercus petraea)* und aus diesem stammende Exkremente, andere wiederum Rote Hartriegel *(Cornus sanguinea)* und Exkremente von diesem als Futter.

Die Vorbereitung des Futters erfolgte auf folgender Weise. Im Herbst etwas vor dem Ende der Assimilationsperiode wurden noch lebende Blätter eingesammelt. Die Blätter wurden mit der Rückenseite nach oben auf ein mit Phthalat – Puffer (pH 4,5) getränktes Filterpapier gelegt und in eine geschlossene Kassette unter gebracht, die $^{14}CO_2$ enthielt. In dieser Kassette betrug die CO_2-Konzentration 0,6 Volumen %, die spezifische Aktivität des ^{14}C 30 μ C/ml CO_2. Aus dem $Ba^{12}CO_3$- und $Ba^{14}CO_3$- Gemisch wurde CO_2 in Gegenwart eines Methylorange – Indikators mit 1n $HClO_4$ frei gemacht. Die Luftzirkulation des geschlossenen Raumes wurde mit einer Membranpumpe gesichert.

Während der 24stündigen $^{14}CO_2$ – Expositionszeit betrug die Intensität der Belichtung etwa 2000 Lux. Nach der Expositionszeit wurde der CO_2 – Gehalt des Luftraumes mit 30% KOH festgebunden. Die nach der Assimilation gewonnene ^{14}C-Aktivität der Blattproben wurde mit dem bereits erwähnten Geiger – Müller – Zählrohr gemessen.

Das Absterben der mit ^{14}C markierten Blätter wurde durch Austrocknen erreicht (lufttrockener Zustand). Die Blätter wurden in ähnliche Tonschalen von 15 cm- Durchmesser – wie im Falle der Collembolen – untergebracht und mit Glasplatten von 15 cm-Durchmesser zugedeckt. Die von der Meso- und Makrofauna auf diese Weise isolierten Blätter wurden im Frühjahr unter Baumkronen 5 cm tief in den Boden eingegraben. Da die Blätter hier die ungefähren Feuchtigkeitsverhältnisse der Umgebung aufnahmen, konnten die gewöhnlichen mikrobiellen Zersetzungsprozesse ihren Lauf nehmen. Nach einem halben Jahr wurden die Schalen wieder ausgegraben, die Hälfte der einzelnen Laubstreuproben wurde mit Collembolen verfüttert, die andere Hälfte – wie mit bereits erwähtem Ziel – den Diplopoden und Isopoden als Futter vorgelegt. Ebenso wurden natürlich auch die nicht ^{14}C markierten Laubstreu- und Exkrementproben vorgerottet.

Besprechung der Ergebnisse

Der Aktivitätswert der zur Verfütterung benutzten Eichenstreu (im Durchschnitt von 5 Proben) – auf 1 mg Trockengewicht bezogen – betrug 1290 Impulsus/Minuten (IPM). Der entsprechende Wert der markierten Streu von Cornus sanguinea war 1430. Die Aktivität der Ex-

kremente der mit dieser Laubstreu gefütterten Diplopoden und Isopoden entsprach der der Laubstreu.

Tab. 1—4 enthalten die Aktivität der auf verschiedenen Futtergemischen gehaltenen Collembolen nach dem Versuch.

Tabelle 1.

Aktivität der Collembolen, gefüttert mit markiertem Eichenlaub und unmarkierten, aus Eichenlaub stammenden Diplopoden- und Isopodenexkrementen

Art	Zahl der Versuchstiere	IPM
Onychiurus armatus (Tullb.) Gisin	5	38
	25	102
	18	104
Isotoma notabilis Schäffer	18	14
	12	170
Folsomia quadrioculata (Tullb.)	10	18
	6	40
	16	102
Orchesella flavescens (Bourlet)	13	13
	19	26
	14	130
Lepidocyrtus cyaneus Tullb.	5	12
	16	15
	18	65
Tomocerus flavescens (Tullb.)	30	35
	22	226

Obwohl bei den einzelnen Fütterungsversuchen die Zahl der in den Tonschalen untergebrachten Collembolen verschieden war, wurde die Aktivität — um leichter einen Vergleich ziehen zu können — immer auf 20 Individuen umgerechnet.

Tabelle II.

Aktivität der Collembolen, gefüttert mit unmarkiertem Eichenlaub und markierten, aus Eichenlaub stammenden Diplopoden- und Isopodenexkrementen

Art	Zahl der Versuchstiere	IPM
Onychiurus armatus (Tullb.) Gisin	5	0
	19	15
	24	19
Isotoma notabilis Schäffer	16	45
	25	9
	10	41
Folsomia quadrioculata (Tullb.)	10	4
	8	28
	10	32
Orchesella flavescens (Bourlet)	13	11
	18	22
	13	48
Lepidocyrtus cyaneus Tullb.	18	7
	5	8
	8	39
Tomocerus flavescens (Tullb.)	12	8
	11	18

Wie aus den Angaben zu ersehen ist, wurden die Laubstreu sowie die Diplopoden- und Isopodenexkremente gleicherweise von den untersuchten Collembolen gefressen, doch bevorzugten sie fast immer das Fallaub. Diese Tatsache erschließt sich aus dem Umstand, daß im allgemeinen die ^{14}C-Aktivität derjenigen Collembolen größer war, die markiertes Fallaub und nicht markierte Exkremente als Futter erhalten hatten. Obwohl aus der ^{14}C-Aktivität nicht nur auf die Tatsache des Konsums, sondern auch auf die Menge des Fraßes gefolgert werden konnte, ließ sich bei dieser Gelegenheit unsere Methode nicht für genaue quantitative Fütterungsuntersuchungen heranziehen. Es unterliegt jedoch keinem

Tabelle III.

Aktivität der Collembolen, gefüttert mit markiertem Roten Hartriegellaub und unmarkierten aus Rotem Hartriegellaub stammenden Diplopoden- und Isopodenexkrementen

Art	Zahl der Versuchstiere	IPM
Onychiurus armatus (Tullb.) Gisin	12	32
	12	37
	8	45
Folsomia quadrioculata (Tullb.)	14	5
	20	21
Orchesella flavescens (Bourlet)	16	22
Lepidocyrtus cyaneus Tullb.	20	38
	14	77

Tabelle IV.

Aktivität der Collembolen, gefüttert mit unmarkiertem Roten Hartriegellaub und markierten, aus Rotem Hartriegellaub stammenden Diplopoden- und Isopodenexkrementen

Art	Zahl der Versuchstiere	IPM
Onychiurus armatus (Tullb.) Gisin	10	6
	14	7
	11	10
Folsomia quadrioculata (Tullb.)	14	2
	22	12
Orchesella flavescens (Bourlet)	10	22
Lepidocyrtus cyaneus Tullb.	14	18
	20	20

Zweifel, daß die Möglichkeiten dafür bestehen. Übrigens sind solche Versuche mit ^{137}Cs bereits durchgeführt worden (Crossley, 1966).

Wie aus den Ergebnissen ferner zu ersehen ist, haben die Tiere das Eichenlaub und die aus dieser erzeugten Exkremente mehr bevorzugt, als das Rote Hartriegellaub und die aus ihm stammenden Exkremente, obwohl aus den Untersuchungen von Dunger (1956) gerade das Gegenteil zu erwarten gewesen wäre. Um dafür eine befriedigende Erklärung geben zu können, müßten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Abgesehen davon, kann festgestellt werden, daß hinsichtlich der Nahrungswahl bei den einzelnen Arten kein entscheidender Unterschied besteht, in der Nahrungsmenge hingegen lassen sich bedeutende individuelle Schwankungen, auch unter ähnlichen Verhältnissen, nachweisen.

Die durchgeführten Untersuchungen haben unsere Annahme, daß eine Markierung mit ^{14}C-Isotop sich ausgezeichnet eignet Aufschlüsse über die Ernährungsverhältnisse von Collembolen und anderen niederen Tiere zu liefern, weitgehend bestätigt. Zur Verfolgung der Nahrungsketten bei Arthropoden benutzten Wiegert, Odum und Schnell (1967) ^{32}P. Coleman (1970) wandte ^{65}Zn und ^{134}Cs bei seinen Untersuchungen an. Dieselbe Isotope wurden auch von Reichle und Crossley (1965) benutzt. Grossbard (1963) und Gifford (1967) wandten ähnlich wie wir ^{14}C an. Als Vorteil dieses Isotops betrachten wir unsererseits den Umstand, daß es leichter von den grünen Blättern assimiliert wird, so daß Möglichkeit die Nahrungsketten, sowohl aus lebendem Material wie aus abgestorbenen pflanzlichen Substanzen hervorgehend zu verfolgen, gesichert erscheint. Die lange Halbwertzeit des ^{14}C-Isotops berücksichtigend, läßt sich der Kreislauf des markierten Materials lange verfolgen, ohne daß dessen Aktivität vom Zeitfaktor praktisch beeinflußt würde.

Zusammenfassung

Mit Hilfe von ^{14}C wurde die Ernährungsweise der in Tab. 1–4 angeführten Collembolen untersucht. Die Versuchstiere konnten von zwei verschiedenen Nahrungen wählen. Die eine Nahrung bestand aus halbjähriges Eichen- oder Rot Hartriegellaub, die andere enthielt Diplopoden- und Isopodenexkremente, die von den vorangehend erwähnten Laubarten stammen. Von den zwei Varianten war eine immer mit ^{14}C markiert worden. Die Markierung erfolgte bei den zur Nahrung dienenden Blättern durch Assimilation des Isotops in Form von $^{14}CO_2$. Am Ende des Versuches wurde die ^{14}C-Aktivität der Collembolen gemessen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß immer die Collembolen größere Aktivität aufweisen, die markierte Blätter und nicht Exkremente konsumiert hatten. Obwohl sich die untersuchten Tiere sowohl mit Blättern wie auch mit Exkrementen ernähren, konnte nachgewiesen werden, daß sie die Blätter bevorzugten. Hinsichtlich der Menge des Konsums ließen sich bei den untersuchten Arten keine wesentlichen Unterschiedene nachweisen.

SCHRIFTTUM

Berthet, P. 1964. L'activité des Oribatides (Acari: Oribatei) d'une chênaie. Mem. Inst. Roy. Nat. Belg. **152:** 1 – 152.

Coleman, D. C. 1968. Food webs of small arthropods of a broomsedge field studied with radio-isotope-labelled fungi. Proc. Symposium „Methods of Study in Soil Ecology." IBP – UNESCO, Paris. 203 – 207.

Coleman, D. C. 1970. Quantification of fungus – small arthropod food chains in the soil. Oikos **21:** 134 – 137.

Crossley, D. A. Jr. 1966. Radioisotope measurement of food consumption by a leaf beetle species. Chrysomela knabi Brown. Ecology **47:** 1 – 8.

Dunger, W. 1956. Untersuchungen über Laubstreuzersetzung durch Collembolen. Zool. Jb. Syst. **84:** 75 – 98.

Dunger, W. 1962. Methoden zur vergleichenden Auswertung von Fütterungsversuchen in der Bodenbiologie. Abh. u. Ber. Naturkundemus. Görlitz **37:** 143 – 162.

Gifford, D. R. 1967. An attempt to use ^{14}C as a tracer in a Scots pine *(Pinus silvestris* L.) litter decomposition study. In: K. Petrusewicz: Secundary productivity of terrestrial ecosystems (Principles and methods) II. Warszawa – Kraków, 687 – – 693.

Gisin, G. 1952. Ökologische Studien über die Collembolen des Blattkomposts. Revue Suisse de Zool. **59:** 543 – 578.

Gisin, H. 1948. Etudes écologiques sur les Collemboles épigés. Mitteilungen d. Schweizerischen Entom. Gesellsch. **21:** 485 – 515.

Grossbard, E. 1963. A method of observing the incorporation of ^{14}C into microbial tissues during cellulose decomposition in the soil. Abstr. 8th int. Congr. Microbiol. Montreal. 1962. 63.

Kühnelt, W. 1950. Bodenbiologie. Verlag Herold. Wien.

Müller, G. – R. Beyer, 1965. Über Wechselbeziehungen zwischen mikroskopischen Bodenpilzen und fungiphagen Bodentieren. Zentralbl. f. Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten u. Hygiene, II. **119:** 134 – 147.

Macnamara, C. 1924. The ford of Collembola. Canadian Ent. 56: 99 – 105.

Nef, L. 1957. Etat actuel des connaissances sur le role des animaux dans la decomposition des litieres de forets. Agricultura **5:** 245 – 316.

Reichle, D. E. – D. A. Crossley, Jr. 1965. Radiocesium dispersion in a cryptozoan food web. Health physics. **11:** 1375 – 1384.

Schaller, F. 1950. Biologische Beobachtungen an humusbildenden Bodentieren, insbesondere Collembolen. Zool. Jb. Syst. **78:** 506 – 525.

Soudek, S. 1928. Fauna lesni hrabanky. Sbornik Vysoke Zemed, Brno. 1 – 24.

Törne, E. von, 1967. Beispiele für mikrobiogene Einflüsse auf den Massenwechsel von Bodentieren. Pedobiologia **7:** 296 – 305.

Wiegert, R. G. – E. P. Odum – J. H. Schnell 1967. Forb-arthropod food chains in a one-year experimental field. Ecology **48:** 75 – 83.